

HEV/EV용 난방 및 냉방 시스템 설계 방법

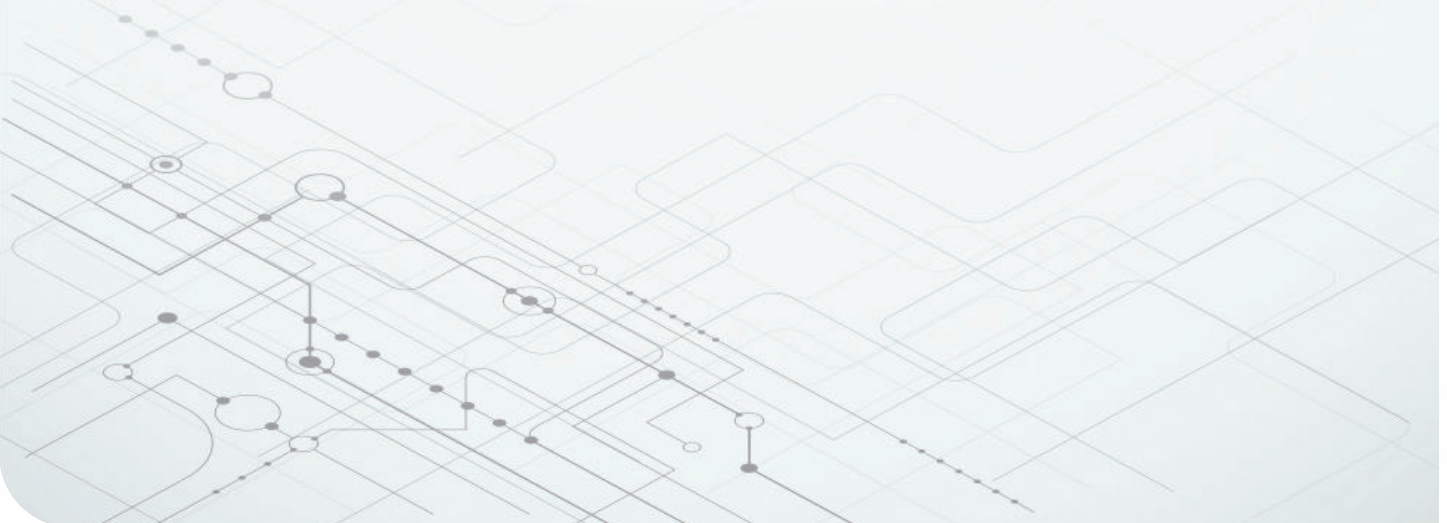


Arun T. Vemuri

General Manager, Automotive Body
Electronics and Lighting
Texas Instruments

Kevin Stauder

Systems Engineer, Automotive Body
Electronics and Lighting
Texas Instruments



수십년 동안 내부 엔진 연소(ICE)를 통해 자동차는 물론 난방 및 냉각 시스템이 작동했습니다. 자동차 산업이 전기화되고 소형 연소 엔진이 달린 하이브리드 전기 차량(HEV) 또는 엔진이 전혀 없는 완전 전기 차량(EV)으로 전환하는 가운데 난방, 환기 및 공조 (HVAC) 시스템은 어떻게 작동하겠습니까?

이 백서에서는 48V, 400V 또는 800V HEV 및 EV의 새로운 난방과 냉방 제어 모듈을 설명합니다. 예시 및 시스템 블록 다이어그램 등을 통해 이 모듈의 고유한 서브 시스템을 알아보고, HEV 및 EV 구현에 도움이 될 수 있는 서브 시스템의 기능 솔루션을 살펴보도록 하겠습니다.

HVAC 시스템에서 연소 엔진의 작동 방식

ICE 탑재 차량에서 엔진은 난방 및 냉방 시스템의 근간입니다. **그림 1**은 이러한 개념을 보여줍니다.

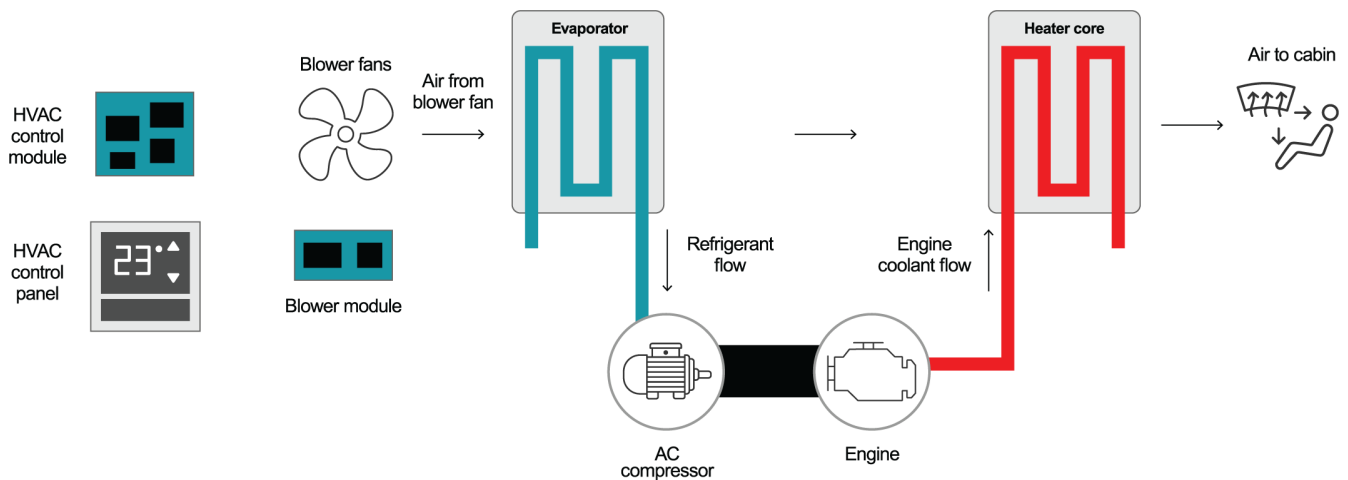


그림 1. 엔진은 ICE 차량의 난방과 냉방 시스템에서 근간 역할을 합니다.

HEV 및 EV에서의 난방 및 냉방 방식

HEV/EV의 경우 연소 엔진의 크기 또는 부재로 인해 **그림 2**와 같이 HVAC 시스템에서 중요한 역할을 하는 두 가지의 추가 부품을 도입해야 합니다.

<85>냉각</85>의 경우 송풍기에서 나온 공기가 증발기로 들어가고, 이곳에서 냉매가 공기를 냉각시킵니다. 엔진에 의해 구동되는 에어컨(AC) 컴프레서가 냉매를 압축하여 증발기에서 내보냅니다.

비슷하게 난방의 경우 엔진에 의해 생성된 열이 냉각수로 전달됩니다. 이 따뜻한 냉각수가 히터 코어로 들어오면 공기가 가열된 다음 실내로 들어옵니다. 이렇게 엔진은 차량 실내의 난방 및 냉방에서 중요한 역할을 합니다.

1. 브러시리스 DC(BLDC) 모터는 엔진 대신 AC 컴프레서를 회전시키는 DC 모터입니다.
2. PTC 히터 또는 열 펌프는 엔진 대신 냉각수를 가열합니다.

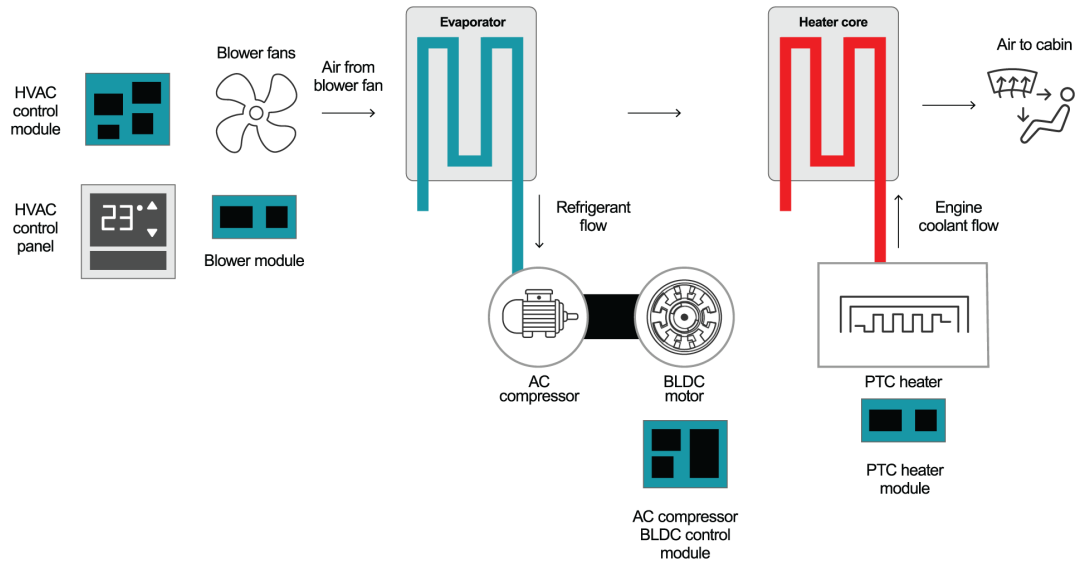


그림 2. HEV/EV의 난방 및 냉방 시스템.

이 부품을 제외한 나머지는 ICE 탑재 차량의 난방 및 냉방 시스템과 동일합니다. 언급한 것처럼 BLDC 모터와 PTC 히터 또는 열 펌프는 엔진이 없는 경우에 필요하지만 소비 전력, 모터 및 저항 히터의 제어, 전체적인 HVAC 제어와 관련하여 다른 문제를 야기할 수 있습니다.

BLDC 모터와 PTC 히터를 제어하는 전자 장치

고압 HEV/EV에서 BLDC 모터와 PTC 히터는 모두 고전압 전력을 사용합니다. AC 컴프레서에는 10kW의 전력이 필요할 수 있는 반면 PTC 히터는 5kW의 전력을 소비할 수 있습니다.

그림 3과 그림 4는 각각 AC 컴프레서 BLDC 제어 모듈과 PTC 히터 제어 모듈의 블록 다이어그램입니다. 두 블록 다이어그램 모두 AC 컴프레서 BLDC 모터와 PTC 히터가 고전압 배터리로 구동됨을 보여줍니다. 추가로 이러한 모듈은 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT)와 해당 게이트 드라이버를 사용하여 BLDC 모터와 PTC 히터로의 전력을 제어합니다.

그림 3과 그림 4는 또한 두 제어 모듈에서 나머지 서브 시스템 사이의 유사성을 보여줍니다. 두 시스템 모두 전원 공급 서브 시스템, 게이트 드라이버 바이어스 전원 공급 장치, 마이크로컨트롤러(MCU), 통신 인터페이스, 온도 및 전류 모니터링을 포함합니다.

통신용 트랜시버 및 전류 측정용 증폭기와 같이 이러한 제어 모듈에서 사용되는 많은 하위 시스템은 다른 난방 및 냉방 제어 모듈에서 사용되는 하위 시스템과 유사합니다. 하지만 전원 공급 서브 시스템과 게이트 드라이버 서브 시스템은 난방 및 냉방 시스템을 작동하는데 있어서 고유한 제어 모듈을 가지고 있습니다. 이러한 서브 시스템 인터페이스에는 저전압 도메인은 물론 고전압 도메인이 있습니다.

이후 백서에서 이러한 서브 시스템에 사용되는 회로 토폴로지의 기능 블록 다이어그램을 설명합니다. 회로 토폴로지의 선택을 통해 효율성, 전력 밀도 및 전자기 간섭(EMI)과 같은 시스템 설계 요구 사항은 물론 하위 시스템 기능을 달성해야 합니다.

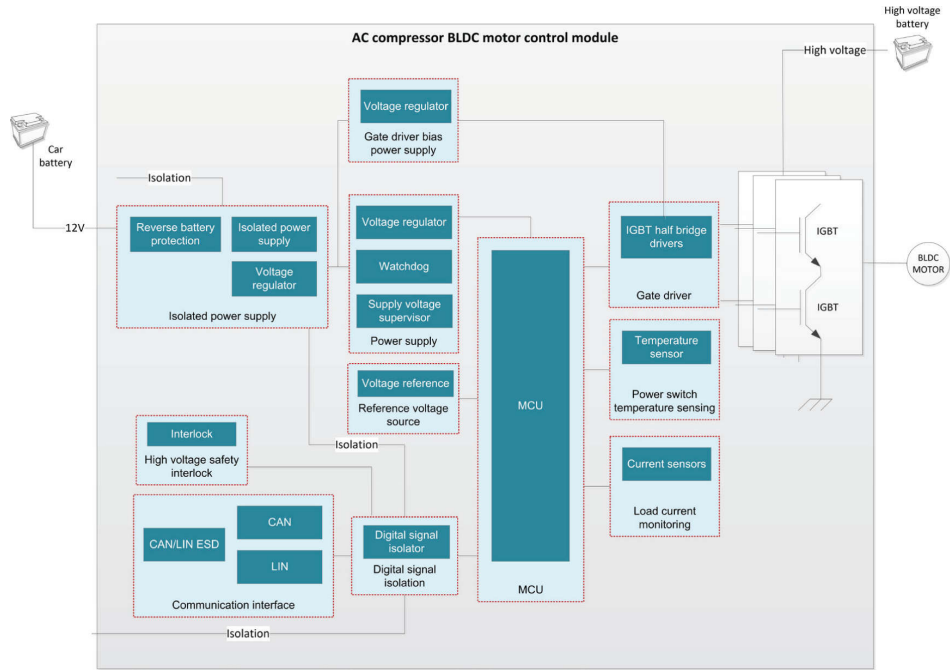


그림 3. 고전압 AC 컴프레서 BLDC 모터 제어 모듈의 블록 다이어그램.

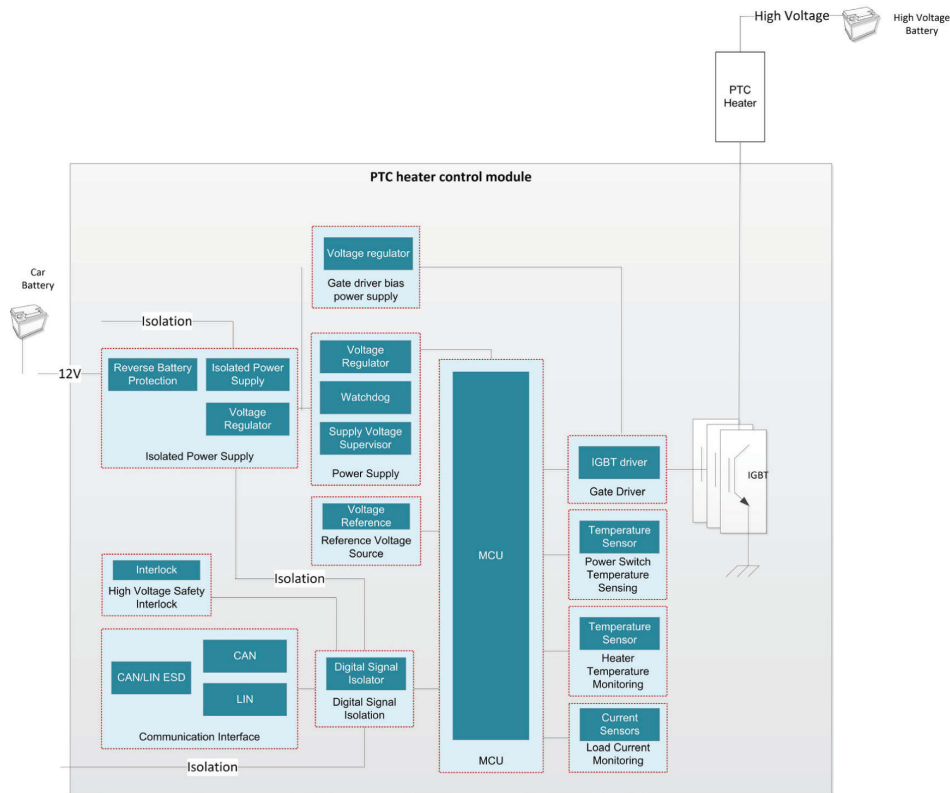


그림 4. 고전압 PTC 히터 제어 모듈의 블록 다이어그램.

열 펌프

고전력 PTC 히터를 사용하여 실내를 가열하는 것의 대안으로 **그림 5**와 같이 냉각 회로를 열 펌프로 사용하는 것이 있습니다. 이 모드에서 역방향 밸브가 냉매의 흐름을 역방

향으로 바꿉니다. 추가로 시스템에 냉매의 흐름을 조절하는 다른 밸브가 있을 수 있습니다. 열 펌프의 밸브는 예를 들어 스텝터 모터를 사용하여 제어됩니다.

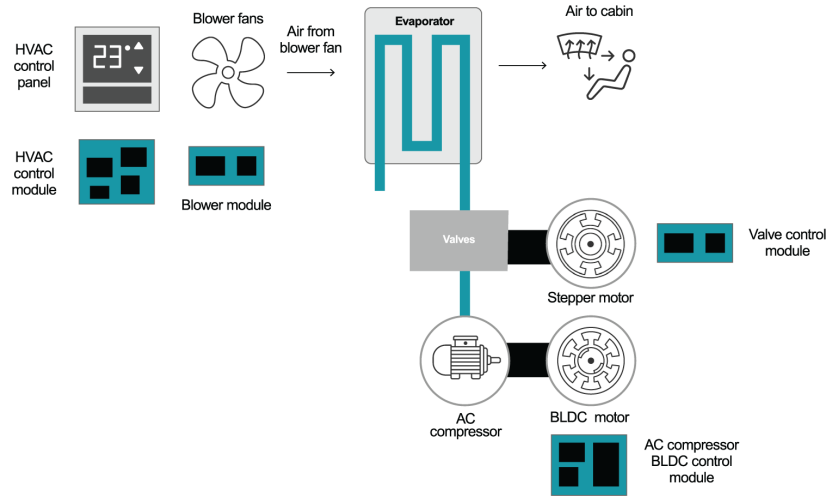


그림 5. 열 펌프 시스템.

열 펌프 기반 난방 및 냉방 시스템에서 다음 밸브가 사용됩니다.

- **확장 밸브**는 냉매 흐름을 제어합니다. 콘덴싱 장치의 고압 액체 냉매를 증발기의 저압 가스 냉매로 변환하는 데 도움이 됩니다. 전자 확장 밸브는 주로 부하 변동에 대해 더욱 빠르고 정확한 대응이 가능하고 특히 스텝터 모터를 사용하여 확장 밸브를 제어할 때 냉매 흐름을 더욱 정밀하게 제어할 수 있습니다.
- <116>차단 및 역방향 밸브</116>는 냉매의 방향 또는 경로를 변경하여 난방과 냉방 모드 모두에서 일부 요소의 역방향 사이클과 우회가 가능하게 합니다. 솔레노이드 드라이버 또는 브러시드 DC 모터가 차단 및 역방향 밸브를 제어할 수 있습니다.

그림 5에서 열 펌프가 계속해서 이전 섹션에서 설명한 AC 컴프레서 모듈을 사용한다는 것을 추측할 수 있습니다. 추가로 열 펌프 시스템은 모터 드라이버 모듈을 사용하여 밸브를 구동합니다. 이로 인해 냉매 흐름용 밸브 구동이라는 설계 상의 문제가 발생합니다.

그림 6은 밸브 구동에 사용되는 모터 드라이버 모듈의 일반적인 블록 다이어그램을 보여줍니다. 이 다이어그램은 스텝터 모터 드라이버를 보여줍니다. 모터가 브러시 DC 모터인 경우 브러시 DC 모터 드라이버가 이 블록 다이어그램에서 스텝터 모터 드라이버를 대신합니다. 모터 드라이버 모듈의 설계 요구 사항에는 전력 밀도와 EMI가 포함됩니다.

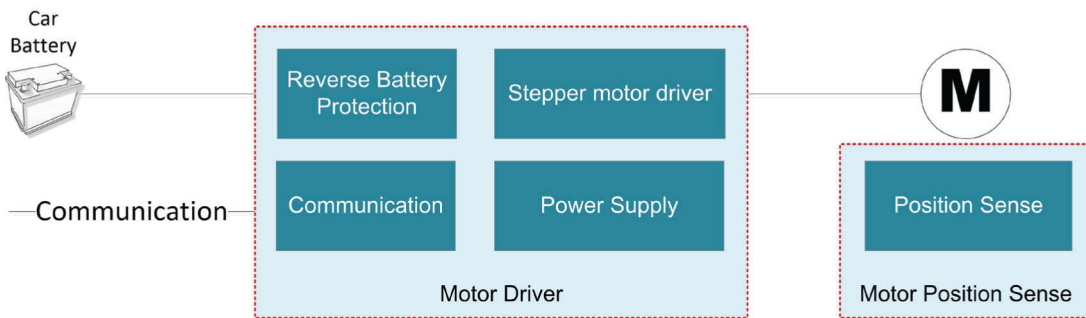


그림 6. 스텝터 모터 드라이버의 블록 다이어그램.

HVAC 제어 모듈

그림 7은 HVAC 제어 모듈에 대한 일반적 블록 다이어그램입니다. HVAC 제어 모듈은 고전압 배터리와 BLDC 모터 및 PTC 히터의 연결 및 연결 해제에 사용되는 고전압 접촉

기를 제어합니다. 블록 다이어그램은 또한 댐퍼 모터 제어, 제상 히터, 통신 인터페이스와 전원 공급 서브 시스템을 보여줍니다.

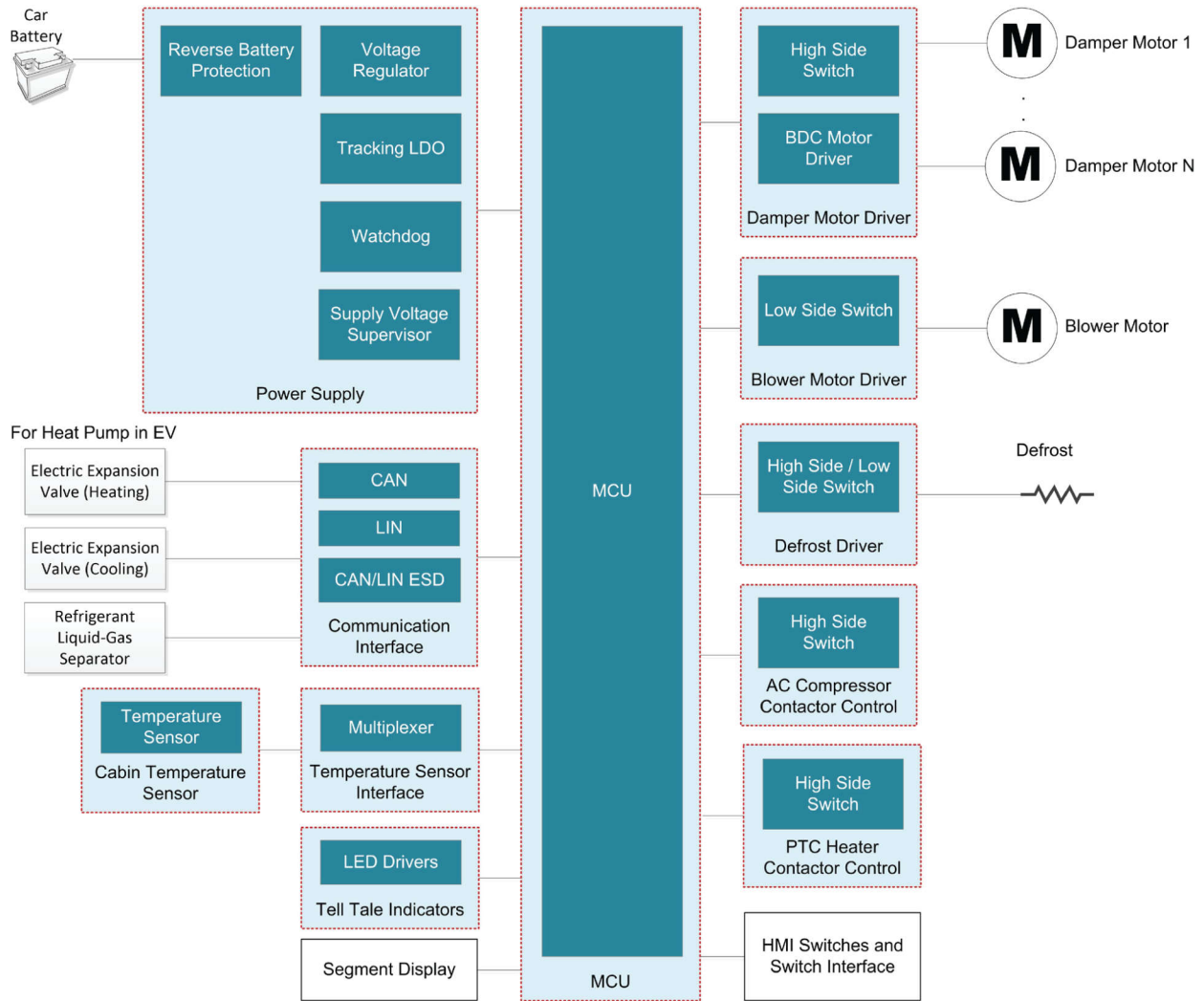


그림 7. HVAC 제어 모듈.
고전압 배터리 난방 및 냉방 관련 참고:

주변 온도에 따라 고전압 배터리의 가열 또는 냉각이 필요할 수 있습니다. 실내 난방 및 냉방에 사용하는 것과 동일한 시스템을 사용할 수 있습니다. 또는 별도의 히터가 배터리로 흐르는 냉각수를 가열할 수 있습니다. 차가운 온도에서 배터리를 가열하는 데에도 사용되는 이 냉각수는 배터리로부터 열을 추출하고 열을 교환기로 전달하여 실내 공기를 가열할 수 있습니다. 이러한 시스템에서 스텝퍼 모터는 배터리 배관과 열 교환기를 흐르는 냉각수 경로를 조절하는 추가 밸브를 제어합니다.

고유한 HVAC 서브 시스템용 일반적 기능 블록 다이어그램

이전에 설명한 것과 같이 HEV/EV의 새로운 난방 및 냉각 시스템 내 추가 제어 모듈에는 이러한 제어 모듈에 고유한 서브 시스템이 포함됩니다. 전원 공급 장치, 게이트 드라이버와 스테퍼 모터 밸브 드라이버가 냉매 흐름 제어에 사용됩니다.

이 섹션에서는 고전압 AC 컴프레서와 PTC 히터 컨트롤 모듈에서 이러한 서브시스템의 회로 위상에 대한 일반적인 기능 블록 다이어그램을 살펴볼 예정입니다. 이러한 토폴로지는 HEV/EV의 절연 장벽 및 EMI 등의 고유한 문제를 처리해야 하는데, 이는 다음 섹션에서 설명될 예정입니다.

전원 공급 장치

BLDC 모터 또는 PTC 히터와 같이 HEV/EV의 경우 전력 소비가 많은 난방 및 냉방 서브 시스템이 있습니다. 하지만 모듈의 나머지 서브 시스템, MCU, 게이트 드라이버, 온도 센서와 나머지 회로 등은 일반적으로 전력이 낮습니다.

일반적인 접근 방식은 가용한 고전압(800V, 400V 또는 48V)으로부터 전력 소비가 많은 부하에 직접 전력을 공급하고 12V 레일로부터 보드의 회로 전력을 공급하는 방식이며, 이는 **그림 8**에 나와 있습니다.

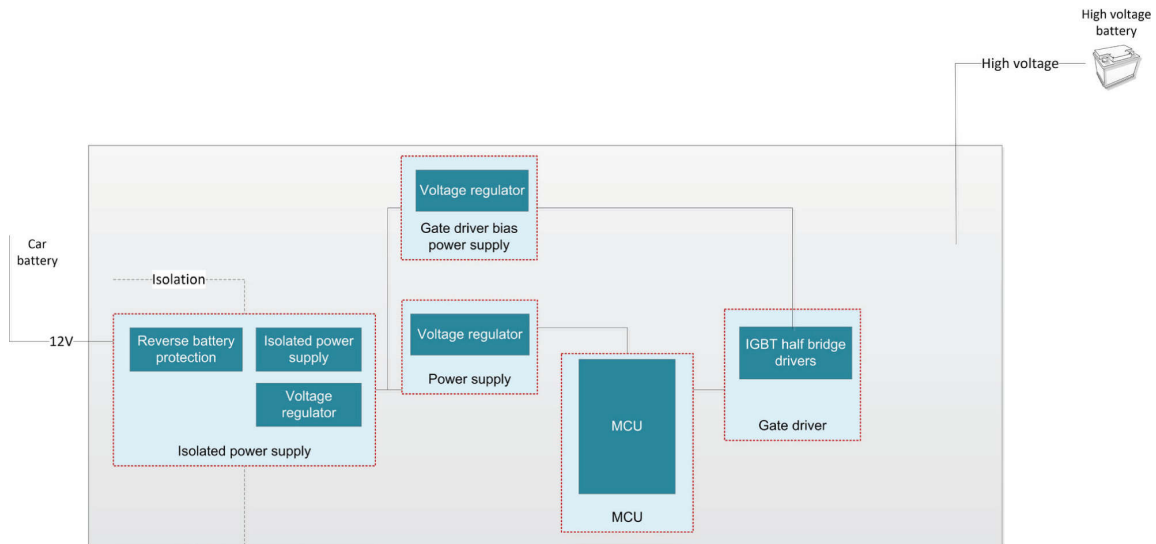


그림 8. 12V 레일의 제어 모듈 회로에 전력 공급.

48V 시스템에서 스타터/발전기 또는 트랙션 인버터 등과 같은 중요 시스템에는 12V와 48V 레일로부터의 공급 사이에 O-링이 필요한 경우가 많습니다. 난방 및 냉방 서브 시스템은 주로 이 O-링을 필요로 하지 않습니다.

그림 8은 또한 절연 장벽을 보여줍니다. 800V 및 400V와 같은 고전압 시스템에서 12V 측과 고전압 측 사이의 절연은 항상 필요합니다. 하지만 48V 차량에서는 다를 수 있습니다. 낮은 전압 때문에 차량의 12V와 48V 시스템 사이에는 전기 절연이 필요하지 않을 수 있기 때문입니다. 실제로 기능 절연(감전에 대한 보호를 반드시 제공하지 않고도 시

스템이 적절하게 작동하도록 허용하는 절연)은 12V와 48V 도메인 사이에서 가장 많이 사용될 것입니다.

시스템의 입력 또는 출력에 절연 장벽을 배치하는 것이 가능합니다. **그림 8**은 대부분의 시스템 부품이 고전압 측에 배치되는 시스템의 입력에 위치한 절연 장벽을 보여줍니다. 이 경우 12V 전력 및 통신 인터페이스에는 절연 부품이 필요합니다. 반대로 시스템의 출력에 절연 장벽을 배치하는 경우 회로 부품의 대부분이 저전압 측에 위치해야 합니다. 이 경우 모듈에서 **그림 9**와 같이 절연 게이트 드라이버를 사용하여 트랜지스터를 구동합니다.

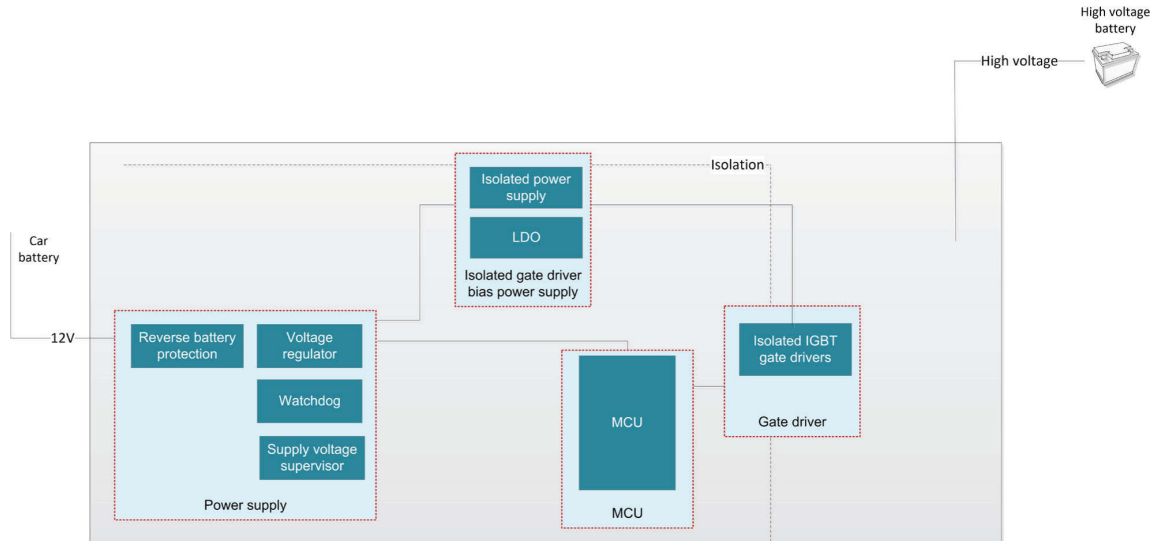


그림 9. 12V 레일의 제어 모듈 회로에 전력 공급.

HVAC 컴프레서에 대한 차량용 고전압, 고전력 모터 드라이브 레퍼런스 설계에서는 게이트 드라이버에 16V를 제공하고 MCU, 연산 증폭기 및 기타 모든 논리 부품에 3.3V(저손실 레귤레이터 이후 5.5V)를 제공하는 **LM5160-Q1** 절연 플라이 백-부스트 컨버터를 사용한 예시를 보여줍니다. 이 접근 방식은 상대적으로 간단하고, 소형(단일 컨버터 및 변압기를 사용하여 두 전압 생성)이며, 좋은 성능을 제공합니다.

게이트 드라이버

3상 브리지 드라이버 집적 회로(IC)를 사용하여 인버터 스테이지의 트랜지스터를 구동할 수 있습니다. 구동 강도가 낮기 때문에(<500mA) 3상 브리지 드라이버 솔루션에는 일반적으로 전류 부스터 역할을 할 추가 부품이 필요합니다. 이로 인해 추가 부품이 필요하게 되어 비용 증가로 이어지고, 인쇄 회로 보드(PCB) 크기가 증가하며, 이상적이지 않은 PCB 레이아웃의 기생으로 인해 전체 시스템의 EMI 위험 및 전파 지연 증가 관련 성능 저하가 발생합니다.

트랜지스터의 스위칭 손실을 최소화하고 시스템 효율성 증가를 위해 EMI를 줄일 수 있도록 **그림 10**과 같이 **UCC27712-Q1** 등 하프 브리지 게이트 드라이브를 사용하여 인버터 스테이지의 각 단계를 구동하는 것을 고려해 보십시오.

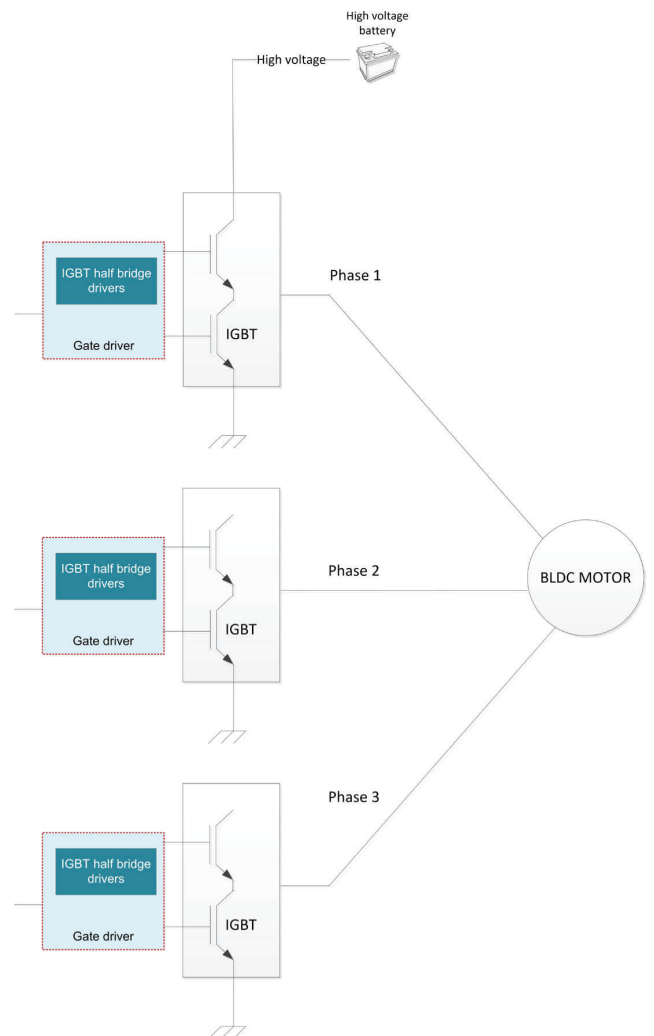


그림 10. 하프 브리지 게이트 드라이버 3개로 인버터 스테이지 구동.

게이트 드라이버 측면에서 EMI는 게이트에서의 오버슈트와 관련이 있는 경우가 많습니다. **그림 10**과 같은 하프 브리지 게이트 드라이버 접근 방식은 추가 부품 제거가 용이하고 PCB 레이아웃의 복잡성이 감소하는데, 스위치 노드를 최소 영역으로 제한하면서 트랜지스터와 매우 가깝게 드라이버를 배치할 수 있기 때문입니다. 이를 통해 EMI 문제가 감소해야 합니다. 추가로 하프 브리지 게이트 드라이버는 게이트 드라이브 전류 증폭을 위한 외부 부스트 스테이지를 필요로 하지 않는데, IC에서 대량의 소스와 싱크 전류에 달성할 수 있기 때문입니다. 하프 브리지 드라이버는 일반적으로 인터록과 데드 타임 기능을 구현하여 동시 켜짐으로부터 출력을 방지함으로써 샷스루로부터 하프 브리지를 보호하고, 효율적인 트랜지스터 구동에 충분한 여유를 제공합니다.

스텝퍼 모터 드라이버

스텝퍼 모터 드라이버가 열 펌프 시스템의 밸브를 구동하는 경우 스텝퍼 모터 드라이버에 필요한 중요 기능은 실속 검출입니다. 이 기능은 모터가 마이크로스테핑 중일 때 기계 블록과 충돌함으로 인해 모터가 이동을 멈춘 경우 드라이버 전자 장치가 이를 감지하는 기능입니다. 마이크로스테핑을 통해 밸브의 매우 정밀한 위치 제어가 가능합니다.

모터 코일은 펄스 폭 변조(PWM) 신호를 통해 구동되므로 EMI가 문제가 발생할 수 있습니다. 스텝퍼 모터 드라이버에는 부하 토크를 구동하는 기능이 있어야 합니다.

DRV8889-Q1과 같은 장치에 모터 전류 감지와 고급 회로가 통합되어 마이크로스테핑 도중 스톨을 감지할 수 있습니다. DRV8889-Q1에는 프로그래밍 가능한 회전율 제어와 확산 스펙트럼 기술이 포함되어 EMI 완화에 도움이 됩니다.

요약

HEV/EV의 더욱 높은 전압으로 인해 새로운 HVAC 제어 모듈이 도입되면서 전력 절연, EMI 및 마이크로스테핑 도중 스톨이라는 새로운 문제가 발생합니다. 절연 플라이 백-부스트 컨버터, 게이트 드라이버 및 스텝퍼 모터 드라이버와 같은 제품이 포함된 일반적인 회로 토폴로지를 활용하여 ICE에서 HEV/EV HVAC 시스템으로 수월하게 전환할 수 있습니다.

HVAC 설계를 시작하려면 HVAC 컴프레서 모듈 또는 HVAC 제어 모듈 시스템을 참조하십시오. HEV/EV용 제품 및 설계 리소스를 살펴보려면 하이브리드, 전기 및 파워 트레인 시스템을 참조하십시오.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated